

中等专业学校教学用书

# 浮游选矿

湖南冶金学院选矿教研组

龔明光 李青 郭迺熙 編

冶金工业出版社

中等专业学校教学用书

# 浮游选矿

湖南冶金学院选矿教研组  
魏明光、李青、郭酒熙 编

冶金工业出版社

# 浮游选矿

湖南冶金学院选矿教研组

明光、李青、郭迺熙 编

冶金工业出版社出版 (地址:北京市灯市口甲45号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第093号

西四印刷厂印 新华书店发行

— \* —

1959年11月 第一版

1959年11月北京第一次印刷

印数3,520册

开本850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·225,000字·印张9

— \* —

统一书号15062·1939 定价1.10元

十年来我国在各个战线上都取得了巨大的成就，文化教育事业也正处在文化革命的高潮中。在党的“教育为无产阶级政治服务，教学与生产劳动相结合”的方针指导下，各校都修订了教育计划和教学大纲，并按照新的教学大纲开始了教材编写工作。但是编写出一套比较成熟的教材将需要一定时间。

为了满足当前各校师生和广大读者对教材的急需，我们将选择部分按新的教学大纲编写并经过教学实践考验过的教材，作为试用教材或是教学参考书出版。

本书是长沙湖南冶金学院选矿教研组的教师编写的，由于编写时间较短和教学实践考验的时间还不长，因此书中必然会存在一些缺点和问题，希望广大师生和读者能把在使用中发现的问题及时告诉我们，以便做进一步的修正。

冶金工业出版社

一九五九年九月

# 目 录

前言	1
第一章 緒言	3
§1-1 浮选的概念及其优点	3
§1-2 浮选发展簡史	6

## 第一篇 浮选理論

第二章 浮选中的相及其界面	11
§2-1 原子間力及分子間力	11
§2-2 浮选中的固相——矿物	16
§2-3 液相——水	22
§2-4 气相——空气	25
§2-5 表面张力与表面自由能	26
§2-6 界面双电层	28
§2-7 吸附作用	31
§2-8 浮选相界面的水化作用	38
第三章 浮选的基本动作	42
§3-1 浮选基本动作的几个假說概述	42
§3-2 接触角假說	42
§3-3 浮选基本动作的热力学的解說	47
§3-4 静电假說	51
第四章 浮选过程的动力学(包括基本动作的动力学)	53
§4-1 概述	53
§4-2 矿粒在气泡上固着的动力学	53

§4-3	气泡在矿物表面析出的动力学	57
§4-4	弗鲁姆金-卡巴诺夫方程式	57
§4-5	矿粒从气泡上脱落的动力学	60
§4-6	浮选速度及选择性	62

## 第二篇 浮选药剂

第五章	捕收剂	70
§5-1	捕收剂概述	70
§5-2	捕收剂的分类	73
§5-3	硫代碳酸盐类捕收剂	76
§5-4	二硫代磷酸盐	79
§5-5	一代硫脲	80
§5-6	硫酚及硫醇	81
§5-7	黄药类捕收剂的作用机理	81
§5-8	碳氧酸及其盐类捕收剂(羧基捕收剂)	85
§5-9	有机硫酸盐类捕收剂	88
§5-10	阴离子捕收剂	88
§5-11	油类捕收剂	91
第六章	活性剂、抑制剂与调节剂	93
§6-1	活性剂	93
§6-2	抑制剂	96
§6-3	调节剂	104
第七章	起泡剂	110
§7-1	最好的浮选泡沫应具备的条件	110
§7-2	二相泡沫的破裂与稳定的机理	112
§7-3	影响二相泡沫稳定性的因素	115
§7-4	三相泡沫	116
§7-5	起泡剂应具备的条件	117
§7-6	常用的起泡剂	118

### 第三篇 浮选机械及其操作

第八章	影响浮选过程的因素	122
§8-1	矿石的结构和性质	122
§8-2	进入浮选过程的矿石粒度	126
§8-3	矿浆准备和药剂制度	129
§8-4	矿浆的充气及其搅拌	132
§8-5	浮选时间	133
§8-6	矿浆温度	134
§8-7	矿浆浓度	134
第九章	浮选机械及附属机械	137
§9-1	机械搅拌式浮选机	137
§9-2	高落式浮选机	153
§9-3	空气吹入式浮选机	155
§9-4	浮选车间附属机械	158
第十章	浮游重选法(粒浮法)	163
§10-1	浮游重选法的基本原理和操作因素	163
§10-2	浮游重选设备	166
§10-3	浮游重选的生产实践	170

### 第四篇 浮选实践

第十一章	浮选流程	176
第十二章	硫化铜矿的浮选	185
§12-1	硫化铜矿石	185
§12-2	硫化铜矿物的可浮性	185
§12-3	黄铁矿的可浮性及几种调节剂的作用	187
§12-4	其他硫化铁矿的可浮性	192
§12-5	硫化铜矿的基本浮选方法	192
§12-6	实例	193

第十三章	銅-鋅-黃鐵礦的浮選	202
§13-1	閃鋅礦的可浮性	202
§13-2	銅-鋅-黃鐵礦的浮選方法	208
§13-3	实例	210
第十四章	多金屬礦石的浮選	214
§14-1	多金屬礦石概述	214
§14-2	方鉛礦的可浮性	214
§14-3	多金屬礦石浮選之原則	217
§14-4	实例	221
第十五章	其他金屬硫化礦的浮選	233
§15-1	鉍礦石的浮選	233
§15-2	鉬礦石的浮選	233
§15-3	銻礦石的浮選	237
§15-4	鎳礦石的浮選	237
§15-5	鈷礦石的浮選	238
第十六章	自然金屬礦物的浮選	239
第十七章	有色金屬氧化礦的浮選	244
§17-1	氧化銅礦石的浮選	244
§17-2	氧化鉛礦石的浮選	246
§17-3	氧化鋅礦石的浮選	251
第十八章	非金屬礦物(非極性的及極性成鹽的)的浮選	253
§18-1	煤的浮選	253
§18-2	石墨的浮選	253
§18-3	磷灰石的浮選	254
§18-4	螢石的浮選	255
第十九章	其他氧化礦石的浮選	257
§19-1	鐵礦石的浮選	257
§19-2	錳礦石的浮選	258
§19-3	鎢礦石的浮選	259



§19-4	錫矿石的浮选	264
§19-5	鋇矿物的浮选	267
§19-6	鈦矿石的浮选	268
§19-7	鈦矿石及稀土金屬矿物的浮选	269
§19-8	鎳矿石的浮选	271
第二十章	稀有金屬硅酸盐矿物的浮选	273
§20-1	鋳英石的浮选	273
§20-2	鋳矿石的浮选	274
§20-3	綠柱石的浮选	276
	主要参考文献	278

## 前 言

今年春天，选矿教研組部分老师，决定为选矿专业中专学生合写一本浮游选矿教材，从二月份起就开始了这一工作。

編写内容及范畴，是根据 1954 年冶金部教育司頒布的有色金屬矿石精选教学大綱和 1958 年湖南有色金屬工业学校修訂的大綱确定的。各編的规定授課时数是：

緒論	2 小时
浮选理論	18 小时
浮选葯剂	14 小时
浮选机械及操作因素	12 小时
浮选实践	14 小时
浮选实验(內容本書未包括)	16 小时
总 計	76 小时

初稿在本期教学中經過陆續試教，对不妥当的部分作了一些删改。但考虑中专三年制、四年制的学生水平不一致；各校普通化学、有机化学、物理化学等課程的时数和內容一时难以統一；授課教师授課中对浮选內容照顧的程度也不一样；再加上各地区、各学校学生毕业后的需要有所出入，所以对內容留有伸縮的余地，任課教师可以根据具体情况决定。但希望在挑选浮选实践部分的内容时，除了照顧需要而外，还适当地照顧講授在选矿方法上有代表性的矿物。此外，各編間教学时数的分配，在冶金部教育司未頒发新的大綱以前，不要随意作大的更动。

編写本書的时候，参考了我国、苏联和資本主义国家近年出

版的代表作。考虑到学生初学的特点和中专学生毕业后的需要，内容和概念的范畴比较广阔，考虑到授课时数有限和学生的年龄特征，书中避免了物理化学公式的推导，有关推导最好在物理化学授课中进行。

该书除了作中专教材外，也可作大学生和现厂工程技术人员的参考书。

本书的第十二、十三、十四章的主要材料由李青提供，第三编由郭迺熙编写，其余部分的编写和整理工作由龔明光负责。由于编写工作是在几个月中挤业余时间搞的，而且内容中的相当一部分是采自几本新的外文书籍，来不及作详细的校对，错误可能是难免的，敬希读者予以指正。

作 者

1959年7月于长沙湖南冶金学院

# 第一章 緒 言

## § 1-1 浮选的概念及其优点

浮选 要分选的矿物，由于其物理化学性质不同，选择地富集在二相界面的过程称为浮选。它的实质是：磨细了（如磨到 0.3 毫米以下）的矿石，经过某种处理以后易浮的矿物能富集在两相界面，而其他矿物仍保留在矿浆中。与其他选矿方法比较，浮选的主要优点有三：

1. 因浮选是根据矿物表面的物理化学性质进行选别，人们有可能利用各种矿物的天然性质差异，并用药剂处理以扩大其差异，来达到分选的目的。原则上可以用它精选任何有用矿物，是最通用的选矿方法。由于这一优点，使过去不能处理的多金属及稀有金属矿物现在有了价值。目前，人们已可用它来选别以下各元素的一些主要矿物：铜、铅、锌、金、银、汞、砷、锑、铋、钼、钙、钡、镁、铝、铍、锂、钠、钾、铀、钍、钽、铁、钴、镍、锰、硫、磷等。

2. 浮选由于能够处理细微的物料，所以和重选一类的选矿方法比较，常常能够获得较高的回收率。

3. 浮选常常可以用来处理别种选矿法所获得的粗精矿，以提高其品位。

但是浮选的给矿需要细磨，要加入浮选剂，浮选的精矿较难处理，这些都使选矿成本增高。

根据浮选过程中所利用的相不同，可以将它分成下列五种：

1. 多油浮选 分选矿物是利用两个不相溶解的相——水及油。该法将含有磨细的矿粒的矿浆加入大量的油（多至矿石重量 20%），油类的比重小于 1，当它和矿粒一块搅拌时，疏水性的硫化物（如辉钼矿）等就粘附在油滴上，形成比重小于 1 的集合体，

这些集合体浮于表面，形成含有用矿物的油层，将油层与水分开就达到了分选目的。

为了改善浮选指标，后来在多油浮选过程中也添加其他药剂。

多油浮选的另一形式是团粒法。利用少量的油和硫化物形成比水重的团粒，而脉石不被油粘着可以用水冲去。

2. 表层浮选 分离矿物是利用水-气界面进行，将磨细的硫化物及脉石的混合物给在水的表面，根据给矿是干的还是湿的，可分为干式表层浮选及湿式表层浮选。

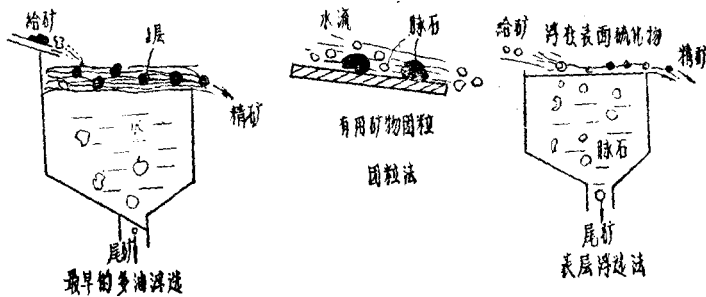


图 1-1 几种浮选方法示意图

3. 固壁浮选法(флотация твердой стенкой) 分选矿物的过程在固-液界面进行，精矿富集在水中的固相表面。在水中浸有表面涂了石蜡，油类或脂肪的薄层的固相时，把硫化物与脉石的混合物(已分离的)倒入水中，则硫化物将固着在固体表面，脉石可以随水流走。

4. 泡沫浮选 分选矿物是利用水-气界面进行的。但这儿的水气界面，系指分散在矿浆中的气泡表面，因而与利用单一的平表面的表层浮选不同。在磨细的几种矿物混合物的矿浆中，有特殊药剂作用时，某种矿物(或某几种矿物)将富集在矿浆中出现的‘气泡表面，带有矿粒的气泡浮到容器的表面以后，可以形成泡沫

层，然后从矿浆的表面被排出。根据产生气泡的方法不同，可将泡沫浮选分成几种：

(1) 电解法 利用电解的过程发生气泡。

(2) 正压力法 将 3.5~7 气压的压力先作用于矿浆上，然后突然减去压力恢复一个大气压，于是溶液中的空气成为气泡析出。

(3) 真空法 利用抽气机将矿液面上抽成真空，使溶液中的空气成泡沫析出。

(4) 化学法 利用硫酸和碳酸盐反应产生气泡。

(5) 机械搅拌法 利用机械搅拌吸入空气，空气被矿浆分裂成小气泡。

(6) 压气法 通过不同的工具向矿浆中送入空气形成气泡。

(7) 联合法 系(6)(5)两种方法的联合作用产生气泡。泡沫浮选，特别是(5)(6)两种产生气泡方法的泡沫浮选现在用得最广，将来也极有前途。第二章以后讨论的浮选过程，将以它作为主要对象。

一般地说泡沫浮选过程包括如下的作业：

(1) 破碎分级及稀释 保证将矿石磨到 0.3 毫米以下的合适粒度，并使其浓度介于 15~45% 之间。

(2) 加调整剂(包括活性剂、抑制剂等)，造成必需的酸碱度及适于捕收剂作用的环境。

(3) 加捕收剂 使某些矿粒容易固着在气泡上。

(4) 加起泡剂 使矿浆中的气泡稳定。

(5) 刮泡 将矿化泡沫层与其余部分分开。

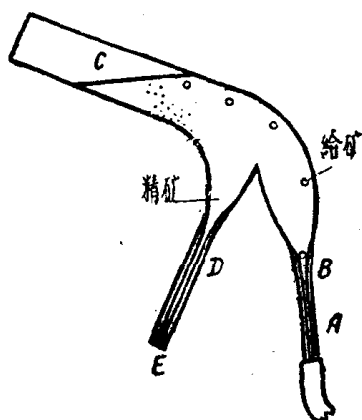


图 1-2

5. 无泡浮选(又称单泡浮选) 也是利用气泡从矿浆中带出某种或某几种矿物, 但矿化气泡到达表面以后立即破裂, 它所携带的精矿落入容器的另一室内, 气泡在表面不形成泡沫层, 这种浮选在现代浮选研究中占有相当的地位。

## § 1-2 浮选发展简史

首先我們談談祖国以外的世界浮选发展史。

紀元前 400 年, 喜洛多得就指出, 在地中海一带有人用粘了油脂的鷄毛从含金的矿石中选出金子。但 1860 年以前发展的速度較慢, 浮选作为一門科学, 真正得到連續的发展是在 1860 年以后。

1860 年英国人烏里耶亨斯首先建議采用多油浮选。

1885 年首倡了新的多油浮选法, 建議向矿浆中同时加入 1% 以下的硫酸, 以改善过程的效果。

1885 年也开始出現了应用表层浮选的想法。

1885 年制造了第一架多油浮选机, 图 1-3, 給矿端有供攪拌的圓筒及叶片, 可以将給矿和油类拌勻。拌勻的給矿到右端的錐形尖箱上分出上浮的带精矿的油层及下沉的尾矿矿浆, 該机的出

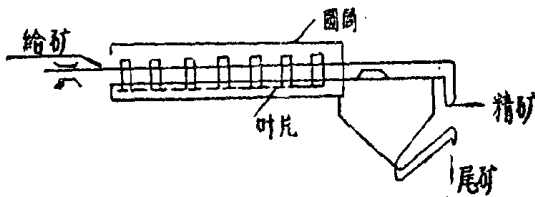


图 1-3 多油浮选机

現, 保證了全油浮选在工业上的应用。

1902 年团粒法开始被人重視, 并建議采用。

可見 1860~1902 年期間是以多油浮选为主要的浮选方法, 也是浮选观念开始萌芽的阶段, 所以人們称之为浮选观念萌芽及

## 多油浮选首創时期。

1902年开始使用化学反应产生气泡的浮选法。

1904年同时出现了表层浮选机，电解法浮选及真空法浮选。

1905年有人建議用 $\text{Na}_2\text{S}$ 来选氧化矿。

1906年倡議用正压力法浮选，并且发明了机械攪拌浮选法。

1909年曾发现松根油及油酸的起泡作用。

1910年发明了較新的机械攪拌式浮选机，但为伦敦的 M. S. 公司(矿物分选公司)連同其他的浮选专利一起購買了，并且一直保密到1930年才公开使該机械能够起到应起的作用，这是資本主义制度对生产发展起阻碍作用的又一証明。

1912年倡議采用干式給矿的表层浮选机(以前的是湿式給矿表层浮选机，它的形式与多油浮选机近似)。該机的构造如图1-4

所示，原矿給在表面有齿紋的滾軸②的沟紋上，当滾軸轉动时，硫化物飘在水面，而脈石落入水中。飄浮的硫化矿由于左側不断給矿向右方移动，当它和无端皮带④接触时，被④帶到滾軸⑤的側C点上，再与水面接触，中矿将沉入槽中，

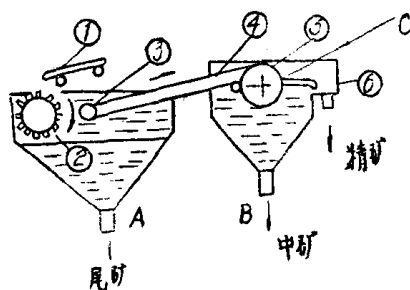


图1-4 干式給矿表层浮选机

精矿随水流溢往精矿排出口，在工业上应用时，其回收率到达了60~90%。

可見1902~1912年間，各种浮选方法均出现了雛型，可說是多种浮选形式并存时期。

1912年，发现了方鉛矿在碱介質中比閃鋅矿容易浮选，也发现了重鉻酸盐对方鉛矿的抑制作用。

1913年，找到了用 $\text{SO}_2$ 来抑制閃鋅矿的办法及用硫酸銅活化閃鋅矿的办法，使方鉛矿和閃鋅矿的分离有了可能。

1921年，有很多重要的貢獻，发现了含有三价氮或二价硫的



有机化合物，可以作为捕收剂来代替过去用的油类捕收剂。

1922年，倡議用氰化鈉(或鉀)和硫酸鋅的混合物，来抑制閃鋅矿和黄鉄矿，使优先浮选(即将矿浆中的易浮矿物逐一地浮起)結果大大地得到了改善。

1924年，发现了黄药の捕收作用(远在一百年前，黄药已被蔡斯制出)。

可見1912~1925年是泡沫浮选获得迅速发展的时期。正因为如此，它逐漸排挤了其他形式的浮选，所以可称为泡沫浮选排挤其他浮选的时期。

1921~1925年間发现了許多重要的浮选药剂(包括捕收剂及抑制剂)，为发展优先浮选将多金屬矿石中的矿物分开，准备了充分的条件。改变了1860年来主要依靠油类选出硫化矿混合物的面貌，成为一个嶄新的时期。所以一些著作把1860~1920年看作第一时期——用各种油类作捕收剂以多油浮选为主的时期。1920年以后看作第二时期——用化学药剂作捕收剂，优先浮选迅速发展的时期。

1925年以后为泡沫浮选全盛的时期。这一时期各类泡沫浮选方法获得了急剧的推广，浮选设备及理論研究大大地发展了，浮选在选矿領域内的应用范围已經压倒了其他选矿方法。現在人們不仅可以將硫化矿与硅酸盐分开，而且也能把硫化矿物彼此分开，或者把最难选的硅酸盐彼此分开。浮选不仅在选矿領域内获得了应用，而且也在农业、食品业、化学工业等范围中得到了应用。

在浮选的发展中，我們伟大的邻邦苏联，無論在理論或实践的許多領域中，都已大大地超过了資本主义国家，它体现在：

(1) 浮选理論方面 列宾捷尔、弗魯姆金、別洛格拉卓夫、克拉辛等的著作都很聞名。

(2) 浮选工作制度，浮选試驗，非金屬选矿等方面 高涅夫、普拉克辛、米特罗法洛夫、爱格列斯等的工作都很出色，特別是